

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

---

**АСТРОНОМИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

Том 63

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

**3**

---

МОСКВА · 1986

УДК 521.38

ДУДИНОВ В. Н., КУЗЬМЕНКОВ С. Г., КОНИЧЕК В. В.,  
ЦВЕТКОВА В. С., РЫЛОВ В. С., ЕРОХИН В. Н.СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДВОЙНЫХ  
ЗВЕЗД НА БТА

Приведены результаты 42 измерений угловых разделений и позиционных углов для 28 двойных звезд, выполненных методом спекл-интерферометрии на 6-м телескопе БТА. Система ADS 11311 ( $\phi$  Dra) впервые была измерена методом спекл-интерферометрии, а система ADS 11149 ранее при спекл-интерферометрических измерениях не была идентифицирована как тройная. В статье излагается методика получения и обработки исходного материала. Сравнение полученных результатов с эфемеридами и результатами других наблюдателей показывает отсутствие систематических ошибок.

SPECKLE INTERFEROMETRIC MEASUREMENTS OF BINARIES WITH THE BTA TELESCOPE, by *Dudinov V. N., Kuz'menkov S. G., Konichek V. V., Tsvetkova V. S., Rylov V. S., Erokhin V. N.*— Results of 42 angular-separation and position-angle measurements for 28 binaries are presented, obtained with speckle interferometric technique at the BTA 6-meter telescope. The system ADS 11311 ( $\phi$  Dra) earlier has not been measured with speckle interferometric technique. The system ADS 11149 has been identified as being triple for the first time in speckle interferometric measurements. The procedure of recording initial images and their further processing is presented. Comparison of the results presented in this work with ephemerides and results of other observers indicates the absence of serious systematic errors.

В 1977 г. совместными усилиями сотрудников Астрономической обсерватории Харьковского госуниверситета (АО ХГУ) и Специальной Астрофизической обсерватории АН СССР (САО) начаты спекл-интерферометрические наблюдения на 6-м телескопе БТА. Метод спекл-интерферометрии [1], как известно, позволяет извлекать информацию о структуре объекта на дифракционном пределе разрешения используемого телескопа. На первом этапе наблюдения вели без усилителя яркости. Спекл-изображения регистрировали непосредственно на высокочувствительную аэрофотопленку «Изонанхром Т-22» с помощью 35-мм кинокамеры «Конвас». Энергетические соображения привели к необходимости при выборе спектрального интервала  $\Delta\lambda$  нарушить условие  $\Delta\lambda/\lambda \leq r_0/D$ , [2], где  $r_0$  — радиус когерентности возмущенного атмосферой волнового фронта (параметр Фрида, [3]),  $D$  — диаметр телескопа. Величина  $\Delta\lambda$  выбиралась из соображений компромисса между энергетическими требованиями и необходимостью обеспечить достаточное отношение сигнал/шум на высших пространственных частотах и достигала 140 нм. При таких условиях наблюдениям оказались доступны лишь самые яркие объекты, звездная величина которых не превышает  $1^m,2$  при качестве изображения  $3''$ . На этом этапе удалось определить угловые размеры  $\alpha$  Boo,  $\alpha$  Tau и  $\alpha$  Ori, а также неоднократно измерить спектрально-двойную звезду  $\alpha$  Aur [2, 4].

С марта 1979 г. наблюдения вели со спекл-камерой, включающей усилитель яркости УМ-92 [4]. Во время первых наблюдений были измерены три спектрально-двойные с одним видимым спектром GC 25 122= $\chi$  Dra, ADS 14 773= $\delta$  Equ, ADS 15 281= $k$  Peg и тесная визуально-двойная ADS 9757= $\gamma$  CrB. Отметим, что ошибки измерений, приведенные в работе [4], соответствуют трем среднеквадратичным отклонениям.

## Спекл-камера

Спекл-камера БТА, установленная в фокусе Нэсмита, состоит из компенсатора атмосферной дисперсии, блока светофильтров, усилителя яркости и кинокамеры.

Компенсатор представляет собой блок из двух призм диаметром 70 мм. Первая призма изготовлена из флинта Ф1 и имеет преломляющий угол  $9^{\circ}00'$ , вторая — из тяжелого крона ТК 14 с преломляющим углом  $9^{\circ}01'$ . Компенсатор установлен на выходном фланце горизонтальной оси телескопа. Направление на зенит в фокусе Нэсмита поворачивается при изменении зенитного расстояния синхронно с поворотом выходного фланца, поэтому направление дисперсии призм всегда совпадает с направлением атмосферной дисперсии. Величина компенсации изменяется перемещением призмы вдоль луча по направляющей внутри горизонтальной оси телескопа. Компенсатор устраняет влияние атмосферной дисперсии с точностью, превышающей дифракционное разрешение телескопа в диапазоне зенитных расстояний  $15-60^{\circ}$  при спектральной полосе 40 нм.

Блок светофильтров состоит из двух дисков, на одном из которых размещены интерференционные светофильтры с максимумами пропускания на 560, 600, 650 нм и полушириной  $\Delta\lambda=40$  нм. На другом диске расположены узкие интерференционные фильтры с  $\Delta\lambda=10-15$  нм, предназначенные для наблюдений красных гигантов в континууме ( $\lambda=610$  нм) и полосах поглощения TiO ( $\lambda=590$  и 623 нм). На этом же диске находятся нейтральные светофильтры и светофильтры КС 17 и КС 19, дающие в сочетании с фотокатодом ЭОП полосу пропускания  $\Delta\lambda\approx 120-100$  нм в далекой красной области.

До 1981 г. усиление спекл-изображений по яркости осуществлялось трехкамерным ЭОП УМ-92 с магнитной фокусировкой электронного изображения. Фотокатод мультищелочной с максимумом чувствительности на 480 нм и длинноволновой границей на 850 нм. Коэффициент усиления по яркости  $\sim 10^3$ , фотографическая разрешающая способность  $\sim 10$  мм $^{-1}$ . Диаметр рабочей части фотокатода 15 мм. Выходной люминесцентный экран имеет зеленое свечение. Для устранения влияния послесвечения, которое составляет около 15 мс (до 10-кратного спада), перед ЭОП располагается механический затвор с переменным обтюратором, который позволяет реализовать набор экспозиций от 3 до 30 мс. Вращение обтюратора синхронизируется двигателем кинокамеры.

В 1981 г. установлен трехкамерный ЭОП УМК-92 с фокусирующей системой на постоянных магнитах. Коэффициент усиления  $\sim 10^5$ , визуальное разрешение 32 мм $^{-1}$  в центре поля, диаметр рабочей части фотокатода 20 мм. Фотокатод мультищелочной, выходной экран синего свечения.

Для увеличения изображения на фотокатоде ЭОП используется 6-кратный объектив микроскопа с числовой апертурой 0,20. Перебрасывающая оптика с экрана ЭОП на киноплёнку состоит из объективов РО2-2М и РО-109 с фокусными расстояниями 75 и 50 мм и относительными отверстиями 1:2 и 1:1,2 соответственно. Эквивалентное фокусное расстояние всей системы (телескоп+спекл-камера) составляет обычно от 480 до 550 м. На выходе спекл-камеры установлена 35-мм кинокамера «Конвас». Для регистрации используется фотоплёнка «Изопанхром Т-22». Скорость съемки 5 кадров/с. При наблюдениях двойных звезд обычно снимаются серии из 100—150 кадров, для измерения угловых диаметров — серии из 250—300 кадров.

### Наблюдения и когерентно-оптическая обработка

В 1980 г. наблюдения были проведены с 30 мая по 4 июня и с 9 по 18 октября в сумерки. Качество изображения в ночи с 30 на 31 мая и с 31 мая на 1 июня было 2—3"; в ночь с 1 на 2 июня — 3—4"; с 4 на 5 июня — 5—6", (со 2 на 3 и с 3 на 4 июня наблюдений не было). Наблюдения вели вблизи полнолуния, что не позволило эффективно использовать наблюдательное время и снижало возможности регистрирующей аппаратуры по

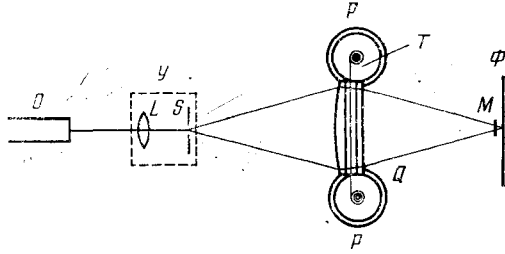


Схема когерентно-оптического спектроанализатора.  $O$  — лазер;  $Y$  — узел разведения пучка;  $S$  — точечная диафрагма;  $Q$  — фурье-преобразующая линза-кювета;  $P$  — лентопротяжный механизм;  $T$  — диапозитив со спекл-изображениями;  $\Phi$  — спектральная плоскость;  $M$  — фильтр-маска

пределной звездной величине. Наблюдения в октябре вели в сумерки: 9 вечером, 10—11, 13—14, 15 утром, 17, 19 утром. Наблюдения 17 и 19 октября были выполнены при качестве изображения 3—4" и 5—6" соответственно, а остальные — при качестве изображения 2—3".

Статистическую обработку наблюдательного материала, т. е. получение спектров мощности спекл-изображений, вели на когерентно-оптическом спектроанализаторе АО ХГУ [5]. Спектр мощности спекл-изображений двойной звезды можно представить выражением

$$\langle |F(\nu_x, \nu_y)|^2 \rangle = C \left\{ 1 + \frac{2\beta}{1+\beta^2} \cos[2\pi l(\nu_x \cos \varphi + \nu_y \sin \varphi)] \right\} \times \langle |g(\nu_x, \nu_y)|^2 \rangle \otimes |V(\nu_x, \nu_y)|^2, \quad (1)$$

где  $C$  — некоторая несущественная константа,  $\beta = 10^{-0,4\Delta m}$ ,  $\Delta m$  — разность блеска компонентов,  $l$  — расстояние между компонентами в спекл-изображении двойной звезды,  $\varphi$  — угол между нормалью к полосам и осью  $\nu_x$ , связанный с позиционным углом двойной звезды,  $g(\nu_x, \nu_y)$  — оптическая передаточная функция (ОПФ) системы «телескоп+атмосфера»,  $V(\nu_x, \nu_y)$  — фурье-преобразование функции окна на входе спектроанализатора,  $\otimes$  обозначает операцию свертки.

Было показано (например, [6]) и подтверждено экспериментально [7], что на высоких пространственных частотах (точнее, при  $\nu = |\mathbf{v}| > r_0/\lambda$ ):

$$\langle |g(\nu_x, \nu_y)|^2 \rangle \propto \left( \frac{r_0}{D} \right)^2 g_D(\nu_x, \nu_y), \quad (2)$$

где  $g_D(\nu_x, \nu_y)$  — дифракционная ОПФ телескопа. Это обстоятельство и позволяет проводить измерения  $\langle |F(\nu_x, \nu_y)|^2 \rangle$  до частот, ограниченных дифракцией на апертуре телескопа.

Измерения спектров мощности на двухкоординатном микроскопе предопределили два режима когерентно-оптической обработки спекл-изображений. В случае двойных звезд с  $\Delta m < 2^m, 5$  спектры мощности получали с помощью спектроанализатора, схема которого приведена на рисунке. Спектроанализатор представляет собой плосковыпуклую линзу-кювету диаметром 80 мм, внутри которой в иммерсионной жидкости протягивается диапозитив со спекл-изображениями. Для получения диапозитивных копий использовалась пленка «Микрат-200». Конструкция кюветы позволяет получать усредненный квадрат фурье-спектра по серии из 300 кадров. Низкая светосила и минимальное количество преломляющих поверхностей практически полностью исключают aberrации и когерентный фон в выходной плоскости спектроанализатора. Регистрацию спектров мощности осуществляли на фотопластинках FP-1 фирмы ORWO.

В случае двойных звезд с разностью блеска компонентов  $\Delta m \geq 2^{m,5}$  модуляция в спектре чрезвычайно низка и последующий процесс измерений становится затруднительным. К тому же положения максимумов и минимумов косинусоидальной функции (1) при больших  $\Delta m$  оказываются заметно смещенными под действием  $\langle |g(v_x, v_y)|^2 \rangle$ . Максимумы и минимумы смещаются при этом в противоположные стороны (первые — к центру, вторые — к периферии спектра мощности), причем величина смещения возрастает с ростом  $v$ . Расчеты, согласно (1), показывают, что, например, при  $\Delta m = 5^m$  модуляция в спектре мощности существует лишь до частоты  $v = 0,45v_D$ , где  $v_D = D/\lambda$  — граничная частота ОПФ телескопа со сплошной круглой апертурой.

Поэтому обработку спекл-изображений двойных звезд с  $\Delta m \geq 2^{m,5}$  осуществляли с помощью двухступенчатого спектроанализатора, содержащего две частотные плоскости. В первую частотную плоскость помещали фильтр с заданным распределением коэффициента пропускания, с помощью которого выполняли операцию деления  $\langle |F(v_x, v_y)|^2 \rangle$  на  $\langle |g(v_x, v_y)|^2 \rangle$ . Неискаженный квадрат фурье-спектра регистрировался во второй частотной плоскости. Функцию  $\langle |g(v_x, v_y)|^2 \rangle$  можно определить по спекл-изображениям неразрешаемой данным телескопом (опорной) звезды. Мы, однако, пользуясь соотношением (2), синтезировали фильтр  $1/g_D(v_x, v_y)$  фотографическим путем с помощью некогерентного оптического коррелятора. Спектры мощности опорных звезд использовали для контроля.

### Измерение спектров мощности

Измерение спектров мощности двойных звезд выполнялось на универсальном измерительном микроскопе УИМ-21. Процесс измерений строился таким образом, чтобы после обработки получалась информация сразу о двух искомым параметрах: периоде полос  $T$  и угле  $\varphi$ . Величины  $T$  и  $\varphi$  оценивали по положениям и ориентации минимумов функции (1) в выбранной системе координат. Каждый минимум в плоскости спектра аппроксимировался прямой линией. Прямая задавалась нормальным уравнением

$$\xi \cos \varphi + \eta \sin \varphi - p = 0, \quad (3)$$

где  $\xi = \lambda_0 f_0 v_x$ ,  $\eta = \lambda_0 f_0 v_y$ ,  $\lambda_0$  — длина волны излучения лазера,  $f_0$  — фокусное расстояние спектроанализатора,  $p$  — расстояние от прямой до начала координат,  $\varphi$  — угол между нормалью к прямой и осью  $\xi$ , которая выбиралась нами по направлению движения пленки в спекл-камере. Очевидно, что для первого минимума  $p_1 = T/2$ , для второго —  $p_2 = 3/2 T$  и т. д. Прямая (3) определялась из условия, чтобы сумма квадратов расстояний от точек  $(\xi_i, \eta_i)$  до искомой прямой была минимальной. Определенная таким образом прямая называется прямой ортогональной средней квадратической регрессии [8]. Требование

$$\sum_{i=1}^k (d_i)^2 = \sum_{i=1}^k (\xi_i \cos \varphi + \eta_i \sin \varphi - p)^2 = \min, \quad (4)$$

где  $d_i$  — расстояние от точки  $(\xi_i, \eta_i)$  до прямой, приводит нас к методу наименьших квадратов. Мы пошли путем линеаризации (3) по параметру  $\varphi$ , сводя таким образом задачу нахождения оценок  $\varphi$  и  $p$  методом наименьших квадратов к итерационному процессу. Все прямые, полученные в результате измерений всего спектра мощности, сводились затем к одной средневзвешенной, проходящей через первый минимум. В итоге определяли средневзвешенные оценки параметров и их ошибки.

Формула для перехода от  $T$  к угловому разделению (в секундах дуги) имеет вид

$$\rho = \frac{206265 \lambda_0 f_0}{R_0 M T} \quad (5)$$

## Результаты измерений двойных звезд

Таблица 1

ADS или GC	Звезда	$\alpha, \delta$ (1900,0)		Эпоха 1980,0+	$\lambda$ , нм	$\rho$	$\theta$	Примечание
GC 3245	12 Per	02 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> .9	+39°46'	0,7744	600	0,042±0,001	25,0±0,5	1
GC 3664	$\gamma$ Per	02 57,6	+53 07	0,7745	600	0,200±0,003	63,3±0,3	2
	$\alpha$ Aur	05 09,3	+45 54	0,7829	650	0,047±0,001	180,8±0,5	3
				0,7993	590, 610	0,043±0,001	157,7±0,3	
	4229 AB	26 Aur	+30 26	0,7773	560	0,082±0,001	68,7±0,3	
	4241 AB	$\sigma$ Ori	-02 39	0,7773	600	0,261±0,003	153,6±0,2	
	4265	126 Tau	+16 29	0,7773	560	0,340±0,002	236,6±0,3	
	4617 AB	$\mu$ Ori	+09 39	0,7773	600	0,184±0,001	13,0±0,2	4
GC 8017	Rst 5225	06 10,7	+01 12	0,7828	560	0,230±0,004	203,0±0,3	
	4890 Aa	75 Ori	+09 59	0,7828	560, 600	0,099±0,001	110,7±0,3	5
	6185 AB	Stt 175	+31 11	0,7828	600	0,147±0,001	329,3±0,3	
GC 12434	10 UMa	08 54,2	+42 11	0,7993	600	0,737±0,006	18,8±0,2	6
	7158	k UMa	+47 33	0,7883	560	0,292±0,002	284,9±0,2	
	8804 AB	$\alpha$ Com	+18 03	0,4205	600	0,529±0,004	191,2±0,3	
GC 20795	$\beta$ CrB	15 23,7	+29 27	0,4152	560	0,089±0,001	326,6±0,3	7
	9688	$\nu^2$ Boo	+44 14	0,4153	560	0,055±0,002	7,2±1,2	
	9744 AB	t Ser	+20 00	0,4153	560	0,213±0,002	67,7±0,3	
				0,4264	600	0,213±0,003	68,6±0,4	
	9757	$\gamma$ CrB	+26 37	0,4154	600	0,362±0,003	123,4±0,2	
GC 22296	$\sigma$ Her	16 30,9	+42 39	0,4154	560	0,084±0,003	1,9±0,8	8
				0,4183	560	0,081±0,002	4,1±0,5	
	10360 AB	c Her	+36 04	0,4182	560	0,098±0,001	78,4±0,4	
				0,4264	560	0,097±0,006	77,7±0,8	
	11149 AB	B 2545	+33 25	0,4265	600	0,096±0,002	44,8±0,7	9
	11149 AB, C	Ho 82				0,771±0,010	218,3±0,4	
		B 2545		0,7870	560	0,097±0,001	44,1±0,4	
		Ho 82				0,754±0,008	216,5±0,3	
	11311	$\varphi$ Dra	+71 17	0,7734	600	0,323±0,002	280,5±0,2	10
				0,7953	600	0,325±0,002	279,4±0,2	
GC 25122	$\chi$ Dra	18 22,9	+72 41	0,7734	650	0,137±0,002	225,2±0,4	11
				0,7953	650	0,139±0,001	225,2±0,4	
	11468	A 1377	+52 16	0,4183	560	0,270±0,002	93,5±0,3	
				0,4265	560	0,272±0,003	94,9±0,4	
GC 27235	QS Aql	19 36,5	+13 35	0,7761	560	0,163±0,002	306,2±0,3	12
				0,7871	560	0,164±0,002	306,6±0,4	
	12808 AB	$\chi$ Aql	+11 35	0,4157	560	0,453±0,005	77,1±0,2	13
				0,7871	560	0,454±0,005	74,7±0,3	
	14073 AB	$\beta$ Del	+14 15	0,4184	650	0,536±0,004	187,2±0,2	14
GC 28780 Aa	$\alpha$ Del	20 35,0	+15 34	0,4157	600	0,171±0,003	334,1±0,4	
				0,7843	600	0,153±0,002	325,0±0,3	

ADS или GC	Звезда	$\alpha, \delta$	(1900,0)	Эпоха 1980,0+	$\lambda, \text{нм}$	$\rho$	$\theta$	Примечание
15032 Aa	$\beta$ Сер	21 27,4	+70 07	0,4185 0,7953	650	0,184 $\pm$ 0,003	49,2 $\pm$ 0,3	15
					650	0,182 $\pm$ 0,002	48,9 $\pm$ 0,3	

Примечания. 1. GC 3245=HR 788=12 Per – спектрально-двойная с двумя видимыми спектрами. Период системы  $P=331^d$  (получен Коласевичем в 1941 г. [9]). Спекл-интерферометрические наблюдения Макалистера [10] позволили на полученных Коласевичем элементах спектроскопической орбиты определить в конечном итоге массы и светимости компонентов и расстояние до системы.

2. GC 3664=HR 915= $\gamma$  Per – спектрально-двойная с двумя спектрами,  $P=14^y,65$  [9]. Впервые была непосредственно разрешена и измерена в 1973 г. Лабейри и др. [41] методом спекл-интерферометрии. Макалистер [12], используя многочисленные спекл-интерферометрические наблюдения и элементы спектроскопической орбиты [9], определил фундаментальные астрофизические параметры этой системы.

3. ADS 3841 Aa= $\alpha$  Aur – известная спектрально-двойная с  $P=104^d$ . Макалистером была построена исключительно по интерферометрическим наблюдениям, проводившимся с 1920 г., новая орбита Капеллы [13] (из 56 использованных наблюдений 14 – спекл-интерферометрические). Новая орбита отлично согласуется с объединенным решением Финзена [14], давая в среднем меньшие отклонения к наблюдениям. Наши наблюдения, выполненные в двух разных фильтрах (эпоха 1980, 7993), дали идентичные результаты.

4. ADS 4617 AB=A 2715 AB= $\mu$  Ori – визуальная, астрометрическая и спектрально-двойная с  $P \approx 18^y$ . Последние исследования Фекели [15] показывают, что  $\mu$  Ori является квадрупольной системой, в которой компоненты A и B – спектрально-двойные.

5. ADS 4890 Aa= $\text{Fin 331 Aa}$ =75 Ori – тесная визуально-двойная с большими вариациями относительной (компонент B относительно A) лучевой скорости [16]. Наши измерения в двух разных фильтрах дали следующие результаты: на 560 нм  $\rho=0,098 \pm 0,001$ ,  $\theta=110,5 \pm 0,4$  и на 600 нм  $\rho=0,100 \pm 0,001$ ,  $\theta=110,8 \pm 0,4$ .

6. GC 12434=Kui 37 AB=10 UMa – спектрально-двойная с одним видимым спектром,  $P=21^y,85$  [9]. Ван Дессель [16] относит систему к двойным с большими вариациями относительной лучевой скорости. Кутто [17] помещает ее в список звезд, для которых надежно определены массы, однако благодаря спекл-интерферометрическим измерениям очевидно, что это не совсем так и, по-видимому, в ближайшем будущем значения масс будут уточнены.

7. GC 20795=HD 137909= $\beta$  CrB – спектрально-двойная с одним видимым спектром,  $P=10^y,5$  [9]. Впервые разрешена Лабейри и др. [41] в 1973 г. Объединенное решение для орбиты, предложенное в [41], очень плохо

согласуется с наблюдениями.

8. GC 22296=HR 6168= $\sigma$  Her – впервые разрешена Лабейри и др. [41] в 1972 г. Имеет очень большую разность блеска компонентов (по оценкам Лабейри [41]  $\Delta m=3-4^m$  на 545 и 620 нм). Наши наблюдения показывают, что контраст полос все же выше (т. е.  $\Delta m$  меньше) на 560 нм, чем на 600 нм (спектр мощности на 600 нм измерен не был), и  $\Delta m$  никак не меньше  $3^m$ . Не была разрешена Макалистером в эпохи 1976, 2963 и 1976, 2991 [18]. Орбита пока не построена.

9. ADS 11149 – визуально-тройная система: компоненты AB обозначают как B 2545, AB, C – No 82 [19]. Как тройная система была обнаружена и измерена нами впервые при спекл-интерферометрических измерениях [20]. Наши наблюдения в эпоху 1980, 7870 были выполнены с двумя экспозициями 20 и 30 мс (на кадр), измерения спектров мощности дали:  $\rho=0,098 \pm 0,001$ ,  $\theta=44,2 \pm 0,4$  (B 2545);  $\rho=0,750 \pm 0,012$ ,  $\theta=216,5 \pm 0,5$  (No 82) и  $\rho=0,097 \pm 0,001$ ,  $\theta=44,1 \pm 0,4$  (B 2545);  $\rho=0,756 \pm 0,010$ ,  $\theta=216,5 \pm 0,3$  (No 82) соответственно.

10. ADS 11311=Stt 353= $\phi$  Dra – впервые измерена методом спекл-интерферометрии в данной работе. Измерения относятся к визуальной паре, компонент A – спектрально-двойная с одним видимым спектром,  $P=26^d,8$  [9].

11. GC 25122=HD 170153= $\chi$  Dra – спектрально-двойная с одним видимым спектром и астрометрически-двойная,  $P=280^d,531$  [9]. Боино и Фуа [21], а также Макалистер [22], используя спекл-интерферометрические наблюдения и элементы спектроскопических орбит Крауфорд (1928) и Винтер-Хапсен (1942) [9] соответственно, определили фундаментальные астрофизические параметры этой системы.

12. GC 27235=Kui 93 – тесная визуально-двойная, один из компонентов которой является затменно-переменной звездой (тип переменности EA,  $P=2^d,5133$ ) [23]. Орбиты нет.

13. ADS 12803=Stt 380 AB= $\chi$  Aql – звезда с составным спектром (F3+ A3), помещенная в списке Хинка [24] под номером 85. Орбиты нет. Спекл-интерферометрические наблюдения с 1976 г. не показывают сколь угодно заметного орбитального движения.

14. ADS 14073 AB=Vu 151 AB= $\beta$  Del – спектрально-двойная с одним видимым спектром,  $P=26^y,6$  [9]. Ван Дессель [16] относит эту систему к двойным с подозреваемыми вторичными вариациями лучевой скорости (возможно обусловленными присутствием третьего компонента).

15. ADS 15032 Aa=Stt 2806= $\beta$  Ser – впервые разрешена Гезари и др. [25] в 1971 г. методом спекл-интерферометрии. Один из компонентов, составляющих измеренную пару, – известная переменная типа BC с  $P=0^d, 1905$  [23].

где  $R_0$  — фокусное расстояние телескопа (фокус Нэсмита),  $M$  — увеличение спекл-камеры.

Измеренный угол  $\varphi$  при данных конструктивных особенностях системы «телескоп+спекл-камера» связан с позиционным углом двойной звезды  $\theta$  линейным алгебраическим уравнением, куда входят зенитное расстояние объекта и его параллактический угол на момент наблюдения. Заметим, что при этом значения  $\theta$  имеют неопределенность в  $180^\circ$ , неизбежную при спекл-интерферометрических измерениях.

Окончательные значения ошибок измеренных параметров  $\rho$  и  $\theta$  вычисляли по известным правилам переноса ошибок при переходе от  $\rho$  к  $\rho$  и от  $\varphi$  к  $\theta$ . Для данного способа измерения и оценивания минимальная среднеквадратичная ошибка оценки  $\rho$  пропорциональна:

$$\sigma_\rho \sim \frac{\sqrt{\rho}}{D}, \quad (6)$$

а аналогичная ошибка оценки  $\theta$  в градусах:

$$\sigma_\theta = 57,3 \frac{\sigma_\rho}{\rho}. \quad (7)$$

### Результаты измерений

Результаты измерений представлены в табл. 1. Первый столбец содержит номер звезды по каталогу ADS или GC; второй — название или обозначение звезды; третий — координаты на эпоху 1900,0; четвертый — эпоху наблюдения в долях Бесселева года, добавленных к 1980,0; пятый — угловое разделение компонентов  $\rho$  и его среднеквадратичную ошибку; шестой — позиционный угол  $\theta$  и его среднеквадратичную ошибку; седьмой — примечание.

Сравнение результатов для одного и того же объекта, полученных в разных фильтрах (ADS 3841, ADS 4890, см. примечание к табл. 1), либо с разными экспозициями (ADS 11149, см. примечание к табл. 1), а также результатов наблюдений, разделенных промежутком в несколько дней для объектов, имеющих медленное орбитальное движение (ADS 9744, ADS 11311, ADS 11468 и GC 27235), демонстрирует их высокую устойчивость. К последним из упомянутых выше четырех систем можно добавить и ADS 10360 =  $\epsilon$  Her, которая имеет период, по-видимому,  $\sim 8$  лет, [26], но эпохи наблюдений которой разделены всего  $\approx 72$  ч.

Для этих пяти систем, наблюдавшихся в соответствующие для каждой звезды эпохи  $t_1$  и  $t_2$ , образуем разности:

$$x = (\rho_2 - \rho_1) / \bar{\rho}, \quad y = \theta_2 - \theta_1, \quad (8)$$

где  $\bar{\rho} = (\rho_1 + \rho_2) / 2$ . Найдем средние различия  $\langle x \rangle$  и  $\langle y \rangle$  и их среднеквадратичные ошибки  $\sigma_{\langle x \rangle}$  и  $\sigma_{\langle y \rangle}$ . Имеем  $\langle x \rangle = 0,0019$ ,  $\langle y \rangle = 0^\circ,18$ ,  $\sigma_{\langle x \rangle} = 0,0033$  и  $\sigma_{\langle y \rangle} = 0^\circ,47$ . Неравенства  $\sigma_{\langle x \rangle} > \langle x \rangle$  и  $\sigma_{\langle y \rangle} > \langle y \rangle$  говорят об отсутствии каких-либо систематических эффектов от наблюдения к наблюдению.

Пользуясь оценками ошибок  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$ , представленными в табл. 1, найдем величины  $\langle \sigma_x \rangle$  и  $\langle \sigma_y \rangle$ . При этом ошибки измерения для  $\epsilon$  Her в эпоху 1980, 4264 следует исключить как совершенно нетипичные (спектр мощности вследствие плохого качества спекл-изображений обладал низким контрастом и измерялся с помощью микрофотометра МФ-4). Имеем  $\langle \sigma_x \rangle = 0,0144$  и  $\langle \sigma_y \rangle = 0^\circ,47$ . Получается, что  $\langle \sigma_x \rangle \approx 4\sigma_{\langle x \rangle}$  и  $\langle \sigma_y \rangle = \sigma_{\langle y \rangle}$ . Таким образом, ошибки, приведенные в табл. 1, вполне реалистичны. Внутренняя сходимость результатов измерений  $\sim 1\%$  для разделений компонентов и  $0^\circ,3$  для позиционных углов.

Табл. 1 содержит 42 измерения 28 звезд (из них четыре измерения относятся к тройной системе ADS 11149), в том числе: пять измерений четырех спектрально-двойных звезд с двумя видимыми спектрами (12 Per,  $\alpha$  Aug,  $\gamma$  Per и  $\mu$  Ori), пять измерений четырех спектрально-двойных с од-



ним видимым спектром ( $10\text{ UMa}$ ,  $\beta\text{ CrB}$ ,  $\chi\text{ Dra}$ ,  $\beta\text{ Del}$ ) и два измерения звезды с составным спектром ( $\chi\text{ Aql}$ ). Остальные измерения относятся к 19 тесным визуально-двойным звездам, для семи из которых орбиты пока не построены, причем две звезды из этого числа имеют переменные компоненты ( $QS\text{ Aql}$  и  $\beta\text{ Ser}$ ).

Измеренные разделения компонентов находятся в интервале от  $0'',042$  до  $0'',771$ , причем 13 измерений были выполнены при  $\rho \leq 0'',1$ . Следует отметить, что ADS 11311 ( $\phi\text{ Dra}$ ) впервые была измерена методом спекл-интерферометрии, а система ADS 11149 ранее при спекл-интерферометрических измерениях не была идентифицирована как тройная — все наблюдатели приводят результаты, относящиеся только к компонентам А и В. Разность блеска между компонентами АВ и С составляет по каталогу IDS [19]  $4^m$ , а  $m_c = 9^m,8$ , что служит иллюстрацией чувствительности (проникающей силы) и динамического диапазона светоприемной аппаратуры и системы обработки.

### Сравнение с эфемеридами и результатами других наблюдателей

Для двойных звезд, элементы орбит которых известны, были вычислены эфемериды. Результаты сравнения с эфемеридами представлены в табл. 2. Первые два столбца в этой таблице имеют тот же смысл, что и в табл. 1; в третьем — эпоха наблюдения; в четвертом и пятом — отклонения  $(O-C)_\rho$  и  $(O-C)_\theta$  измеренных разделений и позиционных углов от эфемерид; в шестом столбце указан автор орбиты и год последнего наблюдения или публикации орбиты.

Орбиты, взятые из каталога Финзена и Уорли [26], отмечены буквами FW с указанием качества орбиты, данного в этом каталоге. В табл. 2 помещены отклонения от эфемерид для тех орбит, которые дают наименьшие отклонения от наших измерений. В том случае, когда для какой-либо звезды этот выбор между орбитами сделать было затруднительно, приведены значения отклонений для всех этих орбит.

Орбиты, которые дают эфемеридные значения, сильно уклоняющиеся от измеренных, отмечены звездочкой. Их оказалось 16 из 32, фигурирующих в табл. 2. У десяти звезд —  $\sigma\text{ Ori}$ ,  $126\text{ Tau}$ ,  $\mu\text{ Ori}$ , Rst 5225,  $75\text{ Ori}$ ,  $k\text{ UMa}$ ,  $\alpha\text{ Com}$ ,  $\gamma\text{ CrB}$ ,  $\phi\text{ Dra}$  и  $\beta\text{ Del}$  отклонения весьма значительны и требуют пересмотра существующих для них орбит. Этот вывод подтверждается также наблюдениями Макалистера [39] и Токовина [40]. Исключив эти звезды из рассмотрения, мы проанализировали отклонения у остальных девяти систем. Анализировать по отдельности июньские и октябрьские наблюдения не имело смысла, поскольку выборка и так мала, а наблюдения эти были выполнены в однородных условиях. В данном случае для каждой звезды выбиралась одна орбита, а для долгопериодических двойных ADS 9744 и ADS 11468 были взяты средние по двум наблюдениям отклонения (для средней эпохи), так как наблюдения очень близки и соответствующие отклонения почти одинаковы. Мы нашли, что  $\langle \Delta\rho \rangle = -0,0006 \pm 0'',0033$ ,  $\langle \Delta\theta \rangle = -0,25 \pm 0^\circ,5$  или для позиционных углов  $\langle \rho\Delta\theta \rangle = -0,002 \pm 0'',002$ , где  $\Delta\rho = (O-C)_\rho$  и  $\Delta\theta = (O-C)_\theta$ , для 12 наблюдений. Среднеквадратичные значения отклонений от эфемерид составляют  $\sigma_{\Delta\rho} = 0'',0116$  и  $\sigma_{\rho\Delta\theta} = 0'',006$ . Эти результаты говорят о том, что систематических ошибок в наших измерениях не существует.

Сравнение с результатами других наблюдателей [39, 40], полученными в эпохи, близкие к нашим наблюдениям, показывает, что они хорошо согласуются друг с другом, а отклонения от эфемерид оказываются наименьшими для одних и тех же орбит.

Пять систем из табл. 2 ( $\alpha\text{ Com}$ ,  $\gamma\text{ CrB}$ ,  $\sigma\text{ Her}$ , A 1377,  $\beta\text{ Del}$ ) наблюдались Макалистером и др. [39] в период с 23 по 26 июня 1980 г. Обозначим отклонения от эфемерид наших данных индексом 1, данных Макалистера — индексом 2. Находим  $\langle \Delta\rho_2 - \Delta\rho_1 \rangle = -0,002 \pm 0'',002$ ,  $\langle \Delta\theta_2 - \Delta\theta_1 \rangle = 0,7 \pm 0^\circ,7$  или для  $\theta$   $\langle \rho_2\Delta\theta_2 - \rho_1\Delta\theta_1 \rangle = 0,008 \pm 0'',004$ . То, что среднее различие взвешенных отклонений  $\rho\Delta\theta$  больше в 2 раза своего среднеквадратичного отклонения, вряд ли указывает на наличие систематических различий по  $\theta$  между

## Сравнение с эфемеридами

ADS или GC	Звезда	Эпоха 1980,0+	(O-C) <sub>ρ</sub>	(O-C) <sub>θ</sub>	Автор орбиты
GC 3245	12 Per	0,7744	-0",005	-0",4	McAlister, 1978 [10]
GC 3664	γ Per	0,7745	-0,015	+1,7	McAlister, 1982 [12]
3841 Aa	α Aur	0,7829	0,000	+2,1	Merrill, 1921, FW1 [26]
			0,000	-0,8	Finsen, 1975 [14]
			0,000	0,0	McAlister, 1981 [13]
		0,7993	+0,001	+2,0	Merrill, 1921, FW1 [26]
			+0,001	-1,1	Finsen, 1975 [14]
4229 AB	26 Aur	0,7773	+0,001	0,0	McAlister, 1981 [13]
			+0,005	+1,7	Baize, 1954, FW3 [26]
			+0,005	+5,6	Scardia, 1982 [27]
			+0,008	-3,8	Baize, 1954 [26], по дина- мические элементы - Старикова, 1977 [28]
4241 AB	σ Ori	0,7773	+0,032	+0,3	Heintz, 1973* [29]
4265	126 Tau	0,7773	+0,031	-6,5	Valbousquet, 1980* [30]
4617 AB	μ Ori	0,7773	+0,101	-17,4	Alden, 1938 [26], по дина- мические элементы - Старикова, 1977* [28]
GC 8017	Rst 5225	0,7828	+0,041	-8,2	Heintz, 1974* [31]
			+0,035	-3,0	Старикова, 1982* [32]
4890 Aa	75 Ori	0,7828	-0,029	-4,0	Старикова, 1982* [32]
GC 12434	10 UMa	0,7993	+0,038	-1,0	Heintz, 1966 FW2* [26]
			+0,019	-0,2	Baize, 1967 [33]
			+0,030	-3,1	Старикова, 1978* [34]
7158	k UMa	0,7883	+0,038	+2,4	Morel, 1969 FW3* [26]
			+0,030	+1,8	Старикова, 1982* [32]
8804 AB	α Com	0,4205	+0,042	-0,1	Hafner, 1938 FW1* [26]
			+0,042	-0,2	Harting, 1950* [35]
9744 AB	ι Ser	0,4153	+0,003	-1,4	van den Bos, 1963, орби- та I, FWA1 [26]
			+0,004	-1,6	van den Bos, 1963, орби- та II, FWA1 [26]
		0,4264	+0,003	-0,6	van den Bos, 1963, I, FWA1 [26]
			+0,004	-0,7	van den Bos, 1963, II, FWA1 [26]
9757	γ CrB	0,4154	-0,045	-1,6	Baize, 1952, FW2* [26]
10360 AB	c Her	0,4182	-0,017	+1,6	Cester, 1963, FWA2 [26]
		0,4264	-0,018	+1,1	Cester, 1963, FWA2 [26]
11311	φ Dra	0,7734	+0,096	+17,6	Olevic, 1975* [36]
		0,7953	+0,098	+16,5	Olevic, 1975* [36]
GC 25122	χ Dra	0,7734	+0,004	-2,3	Bonneau, Foy, 1980 [21]
		0,7953	+0,002	-1,1	McAlister, 1980 [22]
			+0,002	-4,0	Bonneau, Foy, 1980 [21]
			+0,004	-2,4	McAlister, 1980 [22]
11468 AB	A 1377	0,4183	+0,013	-4,7	Baize, 1976 [37]
		0,4265	+0,015	-3,3	Baize, 1976 [37]
14073 AB	β Del	0,4184	-0,027	-1,2	Finsen, 1936 FW1* [26]
			-0,033	+0,3	Couteau, 1959 FW1* [26]
			-0,022	+0,2	Старикова, 1976* [38]

нашими измерениями в июне 1980 г. и измерениями Макалистера, поскольку выборка очень мала. Пользуясь методами теории проверки гипотез, легко показать, что среднее различие  $\rho\Delta\theta$  для данной выборки статистически не значимо. Среднеквадратичные значения разности уклонений от эфемерид составляют  $\sigma_{\Delta\rho_2-\Delta\rho_1}=0",005$  и  $\sigma_{\rho_2\Delta\theta_2-\rho_1\Delta\theta_1}=0",008$ .

Шесть систем из табл. 2 (12 Per, γ Per, α Aur, 26 Aur, μ Ori и χ Dra) наблюдались Макалистером и др. [39] в период с 19 по 23 сентября 1980 г. Для анализа наших октябрьских наблюдений мы привлекли еще наблюдения Макалистера 26–28 февраля 1980 г. двух долгопериодических двойных 126 Tau и k UMa. Таким образом, для восьми наблюдений мы получили  $\langle\Delta\rho_2-\Delta\rho_1\rangle=0,001\pm 0",002$ ,  $\langle\Delta\theta_2-\Delta\theta_1\rangle=0,8\pm 0",7$ , или для  $\theta$   $\langle\rho_2\Delta\theta_2-\rho_1\Delta\theta_1\rangle=0,002\pm 0",002$ . Среднеквадратичные значения разности уклонений равны  $\sigma_{\Delta\rho_2-\Delta\rho_1}=0",006$  и  $\sigma_{\rho_2\Delta\theta_2-\rho_1\Delta\theta_1}=0",005$ .

Результаты проведенного сравнения указывают на отсутствие систематических различий между нашими измерениями и измерениями Макалестера и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Labeyrie A.* Astron. and Astrophys., 1970, v. 6, p. 85.
2. *Дудинов В. Н., Ерохин В. Н., Кузьменков С. Г. и др.* Докл. АН УССР. Сер. «А», 1979, № 7, с. 550.
3. *Fried D. L. J.* Opt. Soc. Amer., 1965, v. 55, p. 1427.
4. *Дудинов В. Н., Ерохин В. Н., Коничек В. В. и др.* Астрон. циркуляр, 1980, № 1134, с. 4.
5. *Дудинов В. Н., Цветкова В. С., Кришталь В. А. и др.* Вестн. Харьковск. ун-та, 1977, № 160, с. 65.
6. *Korff D., Dryden G., Miller M. G.* Opt. Commun., 1972, v. 5, p. 187.
7. *Karo D. P., Schneiderman A. M. J.* Opt. Soc. Amer., 1976, v. 66, p. 1252.
8. *Крамер Г.* Математические методы статистики. М.: Мир, 1975.
9. *Batten A. N., Fletcher J. M., Mann P. J.* Publ. Dominion Astrophys. Observ. Victoria, 1978, v. 15, p. 121.
10. *McAlister H. A.* Astrophys. J., 1978, v. 223, p. 526.
11. *Labeyrie A., Bonneau D., Stachnik R. V., Gezari D. Y.* Astrophys. J. (Lett.), 1974, v. 194, p. L147.
12. *McAlister H. A.* Astron. J., 1982, v. 87, p. 563.
13. *McAlister H. A.* Astron. J., 1981, v. 86, p. 795.
14. *Finsen W. S.* IAU Comm. 26 Circ. d'Inf., 1975, № 66.
15. *Fekel F. C.* Publ. Astron. Soc. Pacif., 1980, v. 92, p. 785.
16. *Van Dessel E.* Comm. Obs. Roy. Belgique, 1979, № 103, p. 3.
17. *Куро П.* Наблюдения визуально-двойных звезд. М.: Мир, 1981.
18. *McAlister H. A.* Publ. Astron. Soc. Pacif., 1978, v. 90, p. 288.
19. *Jeffers H. M., van den Bos W. H., Greeby F. M.* Index catalogue of visual double stars, 1961, 0.— Publ. Lick Observ., v. 21 in two parts, 1963.
20. *Dudinov V. N., Konichek V. V., Kuz'menkov S. G. et al.* In: Proc. IAU Colloq., 1982, № 67, p. 191.
21. *Bonneau D., Roy R.* Astron. and Astrophys., 1980, v. 86, p. 295.
22. *McAlister H. A.* Astron. J., 1980, v. 85, p. 1265.
23. *Proust D., Ochsenbein F., Pettersen B. R.* Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 1981, v. 44, p. 179.
24. *Hynek F. A.* Contr. Perkins Observ., 1938, № 10, p. 185.
25. *Gezari D. Y., Labeyrie A., Stachnik R. V.* Astrophys. J. (Lett.), 1972, v. 173, L1.
26. *Finsen W. S., Worley C. E.* Republ. Observ. Johannesburg circ., 1970, v. 7, p. 203.
27. *Scardia M.* IAU Comm. 26 Circ. d'Inf., 1982, № 88.
28. *Старикова Г. А.* Астрон. циркуляр, 1977, № 964, с. 7.
29. *Heintz W. D.* IAU Comm. 26 Circ. d'Inf., 1973, № 60.
30. *Valbousquet A.* IAU Comm. 26 Circ. d'Inf., 1980, № 82.
31. *Heintz W. D.* IAU Comm. 26 Circ. d'Inf., 1974, № 63.
32. *Старикова Г. А.* Письма в «Астрон. журн.», 1982, т. 8, с. 306.
33. *Baize P.* IAU Comm. 26 Circ. d'Inf., 1967, № 42.
34. *Старикова Г. А.* Письма в «Астрон. журн.», 1978, т. 4, с. 552.
35. *Harting H.* Astron. Nachr., 1950, v. 278, p. 264.
36. *Olevic D.* Publ. Observ. astron. Beograd., 1975, № 126, p. 49.
37. *Baize P.* IAU Comm. 26 Circ. d'Inf., 1976, № 68.
38. *Старикова Г. А.* Тр. Гос. астрон. ин-та, 1976, т. 47, с. 96.
39. *McAlister H. A., Hendry E. M., Hartkopf W. J., Campbell B. G.* Astrophys. J. Suppl. Ser., 1983, v. 51, p. 309.
40. *Токовинин А. А.* Письма в «Астрон. журн.», 1982, т. 8, с. 43.

Астрономическая обсерватория  
Харьковского госуниверситета

Специальная астрофизическая обсерватория  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
13.IX.1984